



文章栏目: 大气污染防治

DOI 10.12030/j.cjee.201903060 中图分类号 X513 文献标识码 A

刘颖帅, 葛蕴珊, 谭建伟. 基于国VI标准的重型柴油车气态污染物排放控制技术[J]. 环境工程学报, 2019, 13(7): 1703-1710.
LIU Yingshuai, GE Yunshan, TAN Jianwei. Gaseous pollutants emission control technology for heavy diesel vehicles based on China VI standard[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(7): 1703-1710.

基于国VI标准的重型柴油车气态污染物排放控制技术

刘颖帅^{1,2,3}, 葛蕴珊^{1,2,*}, 谭建伟^{1,2}

1. 北京理工大学, 国家汽车性能与排放测试实验室, 北京 100081

2. 北京电动车辆协同创新中心, 北京 100081

3. 潍坊科技学院, 潍坊 261000

第一作者: 刘颖帅(1983—), 男, 博士研究生。研究方向: 重型柴油机排放控制技术。E-mail: liuyingshuai1983@163.com

*通信作者: 葛蕴珊(1975—), 男, 博士, 教授。研究方向: 重型柴油机排放控制技术。E-mail: geyunshan@bit.edu.cn

摘要 基于车载尾气检测设备(portable emission measurement system, PEMS), 研究了国VI重型车气态污染物的排放特征; 基于单位燃油消耗排放因子、单位行驶里程排放因子、单位时间排放因子, 分析了NO_x、HC、CO污染物随路况的变化规律。实验结果表明, NO_x、HC、CO气态污染物较国V重型柴油车下降幅度较大, 3种气态污染物分别下降88%、98%、62.7%。采用功基窗口法对数据进行整理分析, NO_x测量结果为460 mg·(kWh)⁻¹, CO测量结果为192 mg·(kWh)⁻¹, HC测量结果为37.5 mg·(kWh)⁻¹, 该重型柴油车可以满足国VI车载法规的要求。研究结果可为国VI重型车排放标准制定及其在环境污染控制领域的应用提供参考。

关键词 车载排放测试系统; 排放因子; 国VI; 排放特征

近年来, 京津冀及周边、汾渭平原、长三角北部地区等重点区域大气污染严重, 随着汽车行业的发展和国内人均汽车保有量持续增加, 移动源排放造成的大气污染进一步显现。柴油车排放的污染物主要包括CO、HC、SO₂、NO_x和PM等, 其中NO_x和PM主要排放污染物对人体健康和生活环境危害巨大。虽然柴油车只占我国机动车保有量不足10%, 但其NO_x排放量接近机动车排放总量的70%, PM排放量占比超过90%^[1]。因此, 柴油车的NO_x和PM排气污染物成为今后机动车污染源控制的主要内容。柴油车严格执行国VI排放法规成为打赢蓝天保卫战的关键。

目前, 国内外都开展了PEMS技术相关研究。我国的研究人员在PEMS测试方面也做了很多工作。葛蕴珊等^[2]基于PEMS测试了5辆轻型柴油车和6辆城市公交车的实际道路排放, 分别测量了在空调打开与关闭状态下的公交车的实际排放。申现宝等^[3]利用SEMTECH-DS车载测试系统, 选择3辆农用运输车进行实际道路车载测试。得到了HC、NO_x、CO和CO₂基于油耗的平均排放因子。郭勇等^[4]使用便携式车载排放测试系统测试了2辆国IV公交车燃用不同燃料的实际道路排放特性和经济性。张静等^[5]采用便携式排放测试系统(PEMS)跟踪检测3辆分别加装DOC、CDPF与DOC-CDPF的柴油公交车。YU等^[6]

收稿日期: 2019-03-16; 录用日期: 2019-03-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51508304, 51676017)

在环境室中使用不同的PEMS研究了重型柴油车排放结果的一致性。

西弗吉尼亚大学(WVU)使用PEMS对3辆在用柴油车进行排放测试^[7]。JACEK等^[8]基于便携式排放测量系统(PEMS)对1辆符合欧-V排放标准的汽油-天然气双燃料车在不同路况、不同环境条件下的尾气排放进行了测量。LEE等^[9]选取了12辆符合欧-III、欧-IV和欧-V排放标准的轻型柴油车,在实验室底盘测功机上测量了轻型柴油车NEDC循环的 NO_x 排放。KEAN等^[10]根据燃油消耗量对加州的非道路机械排放进行研究。估计了加州地区PM和 NO_x 的排放情况。

通过研究国内外文献可知,我国的整车PEMS测试的相关研究虽然取得了一定的进展,但是,对国VI技术法规的车辆实际道路行驶排放的相关研究还缺乏,特别是基于国VI发动机的整车污染物排放特征的分析尚需进一步研究。本研究重点分析国VI重型车PEMS排放特征,根据国VI排放标准制定测试方案,并分析基于单位质量燃油、单位行驶里程、单位时间的排放因子,监控排气后处理系统及控制策略在实际道路上的运行情况,研究结果可为国VI柴油车污染物控制与监测提供参考依据。

1 国VI标准与污染物控制技术

1.1 国VI排放标准

针对日趋严重的机动车尾气污染问题,北京于2016年初执行京V阶段的排放法规,对在北京市内运行的7类车辆要求必须加装颗粒捕集器(diesel particulate filter, DPF),这有效地降低了市内柴油车尾气颗粒物(PM)排放污染。2018年6月,国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的通知,要求从2019年7月1日起,重点区域、珠三角地区、成渝地区提前执行国VI排放法规。2018年7月,生态环境部宣布自2020年7月1日起,所有生产、进口、销售和注册登记的城市车辆应符合国VI排放法规要求;自2021年7月1日起,所有生产、进口、销售和注册登记的重型柴油车应符合国VI排放法规要求。国VI法规分为2个阶段,国VI-b阶段在2023年7月1日全面执行,国VI-b在国VI-a阶段的基础上增加了PEMS车载法PN的限值和远程排放管理车载终端数据发送的要求。重型车国VI排放法规内容基本沿用欧VI排放法规。国VI排放法规与国V相比, NO_x 限值降低77%,颗粒物质量(PM)限值降低67%,并引入颗粒数量的限值要求,同时加严了排放耐久性、车载自动诊断系统(on board diagnostics, OBD)等相关要求,引入实际驾驶排放(PEMS)测试要求^[11-12]。基于发动机台架测试循环排放结果不能真实反映整车实际排放的现象,对此欧美等国提出利用便携式排放测试系统(PEMS)测量整车的实际行驶排放,以弥补发动机台架检测循环测试的不足,可以更加全面、真实地反映整车的实际排放水平^[13-14]。PEMS技术并不需要将测试发动机拆卸后进行实验室检测,而是仅需要将相关的测试仪器装配到指定的车辆上进行实际驾驶排放测试,这样不仅节约大量的时间和资源,而且能够第一时间得到所需实时排放数据。随着PEMS技术的广泛应用,机动车排放将从单一的台架测试向台架与PEMS技术相结合的方向发展^[15-16]。

1.2 污染物控制技术

图1是重型柴油机国VI常见的选择性催化还原(selective catalytic reduction, SCR)与DPF集成方案,SCR是降低柴油机排气中 NO_x 污染物最有效的技术之一,DPF是目前国际上公认的最为有效的柴油机排气颗粒捕集技术。在国VI阶段,DPF安装在SCR上游,其优点是上游的DPF可以利用DOC转化的

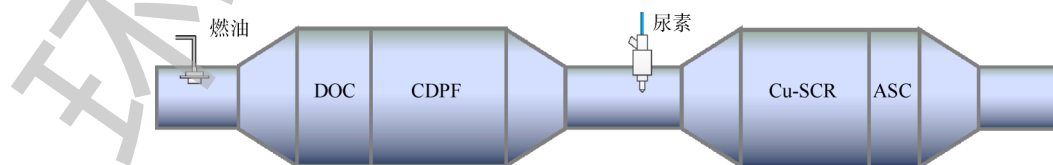


图1 柴油机排气污染物控制装置

Fig. 1 Exhaust pollutant control device for diesel engine

NO₂实现连续被动再生,降低DPF主动再生的频率,进而提升柴油机燃油经济性。一般SCR的平均转化效率须达到90%~95%左右,下游的SCR可以利用上游DOC转化的NO₂提升SCR快速反应的比例,进而提升SCR低温转化效率,该技术方案主要应用于城市与高速工况相结合的车辆。

2 仪器与方法

2.1 仪器与实验方案

选择带有国VI发动机及后处理系统实验车辆,并加装美国Sensors公司生产的SEMTECH-DS(sensor emission technology)车载排放测试仪进行柴油车实际道路排放测试。SEMTECH-DS能够使用相应的测量模块测量气体污染物(如CO₂、CO、HC和NO_x)的瞬时排放。还能测量环境湿度、温度、压力以及其他相关参数。SEMTECH-DS带全球卫星定位系统(global positioning system, GPS),可以测量车速和海拔,并通过数据线传送给计算机。此外,在每次测试之前,分别用纯氮和标准气体对SEMTECH-DS进行校零和校准,以确保测量结果的准确性。

整车的总体布置如图2所示,主要包括测试车辆、排放测试设备和油耗仪等。实验用整车主要参数如表1所示,实验用SEMTECH-DS排放测试设备测量范围如表2所示。

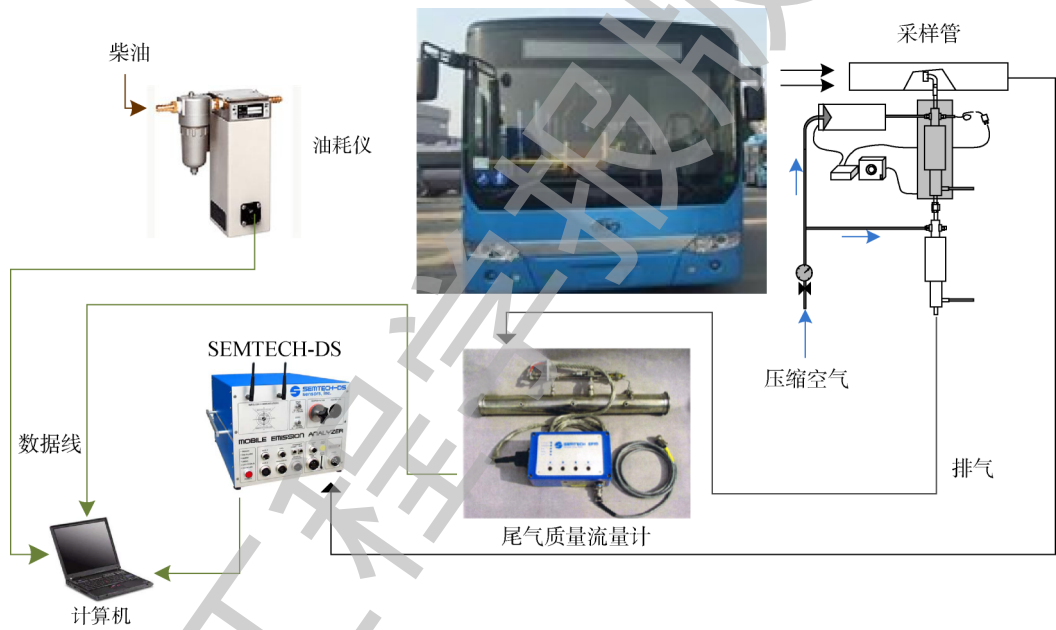


图2 实验设备安装示意图
Fig. 2 Schematic diagram of test equipment installation

表1 实验车辆信息

Table 1 Test vehicle information			
生产企业	整备质量/kg	外形尺寸/(mm× mm× mm)	迎风面积/m ²
苏州金龙	12 500	11 450×2 500×3 560	7.74
风阻系数	常用车速/(km·h ⁻¹)	最大爬坡度/%	驱动形式
0.4	100	≥30	4轮2驱

图3为车辆道路PEMS排放测试中测试路况的构成情况,实验路段接近于国VI车载排放法规要求的道路运行路况的分布,车辆运行路况包括市区路、市郊路、高速路段,全程45.9 km。根据车辆行驶速度划分车辆运行道路属性,市区路段车辆行驶平均速度为0~50 km·h⁻¹,市郊路段车辆行驶平均速度为50~70 km·h⁻¹,高速路段车辆行驶平均速度>75 km·h⁻¹。为获取不同的整车行驶工况对应的柴油

表2 SEMTECH-DS测量范围

Table 2 SEMTECH-DS measurement range

污染物	测量范围	分辨率	测量精度
CO ₂	0~0.2	1×10 ⁻⁴	±0.03
CO	0~0.08	1×10 ⁻⁵	±0.03
HC	0~0.001	1×10 ⁻⁶	±0.03
NO	0~0.002 5	1×10 ⁻⁶	±0.03
NO ₂	0~0.000 5	1×10 ⁻⁶	±0.03

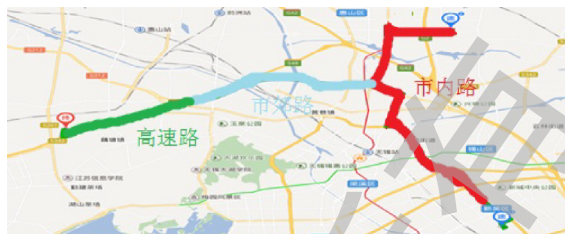


图3 PEMS实验设计路段

Fig. 3 PEMS test design section

车辆实时排放情况, 国VI标准对M3类型车辆要求70%市区, 30%市郊和高速路段, 各段路偏差控制在±10%以内。

2.2 数据处理方法

为了更直观地描述排放污染物, 使用排放因子表达污染物的排放情况, 排放因子包括如下3种形式。

第1种是基于燃油消耗的排放因子, 即车辆消耗单位质量燃油排放污染物的量, 计算见式(1)。采用碳平衡法计算基于燃油的排放因子, 该方法假定所有碳排放为HC、CO和CO₂。颗粒物中的碳元素与排气中的气态碳元素相比比重极小^[17], 可以忽略不计。

$$Q_{EF} = \frac{\sum(\rho_p Y Q)}{\sum(\rho_D R_{FC})} \quad (1)$$

式中: Q_{EF} 为基于燃油消耗的排放因子, $g \cdot kg^{-1}$; ρ_p 为标准条件下的排气密度, $g \cdot m^{-3}$; Q 为标准条件下的排气流量, $m^3 \cdot s^{-1}$; R_{FC} 燃油消耗率, $L \cdot s^{-1}$; ρ_D 为燃油密度, $g \cdot m^{-3}$; Y 为排气体积分数, HC、CO、CO₂体积分数分别为0.866、0.429和0.273。

$$Q_{VF} = \frac{1000 R_{FC} \rho_D R_{CWF}}{0.866 Y_{HC} \rho_{HC} + 0.429 Y_{CO} \rho_{CO} + 0.273 Y_{CO_2} \rho_{CO_2}} \quad (2)$$

式中: Q_{VF} 表示排气体积流量, $L \cdot s^{-1}$; R_{CWF} 表示碳在柴油中的质量分数, 87.98%; ρ 为标准气体密度, 取值0.996 $kg \cdot L^{-1}$ 。

第2种是基于行驶里程的排放因子^[18], 即车辆行驶单位距离排放污染物的质量, 计算见式(3)。

$$Q_{EFi} = \frac{\sum R_{ED}}{\sum D} \quad (3)$$

式中: Q_{EFi} 基于行驶里程的排放因子; R_{ED} 为车辆排放的某种污染物逐秒排放速率; D 为该工况下的逐秒的速度, $km \cdot s^{-1}$ 。

第3种是基于时间的排放因子^[19], 即车辆行驶单位时间排放污染物的量, 也就是瞬时排放, 是某种污染物在某一工况下逐秒污染物排放速率。

误差分析^[20]采用标准偏差公式, 见式(4)。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2} \quad (4)$$

式中: σ 为标准差; N 为样本总数; i 为样本序列号; X_i 为第*i*个样本的值; μ 为算术平均值。

3 结果与讨论

3.1 基于燃油消耗的排放因子

表3为市内、市郊、高速3种工况基于燃油消耗的排放因子。从表3可以看出, CO、HC气态污染

物基于燃油消耗的排放因子随车速的增加而降低,主要原因是随着车速的增加,发动机转速和负荷也相应增加,排气温度可以保持在较高水平,后处理装置DOC可以高效地氧化尾气中的CO、HC污染物。 NO_x 气态污染物基于燃油消耗的排放因子随行驶路况变化先降低后增加,主要原因是市内路况整车排气温度较低,部分低负荷工况SCR不能正常工作导致 NO_x 污染物排放相对较高。市郊和高速路况下的 NO_x 污染物排放量较大,但该路况发动机工作在高转速高负荷区间,排气温度维持在较高水平,SCR催化剂工作在高效区间,可以有效地降低尾气中的 NO_x 污染物。

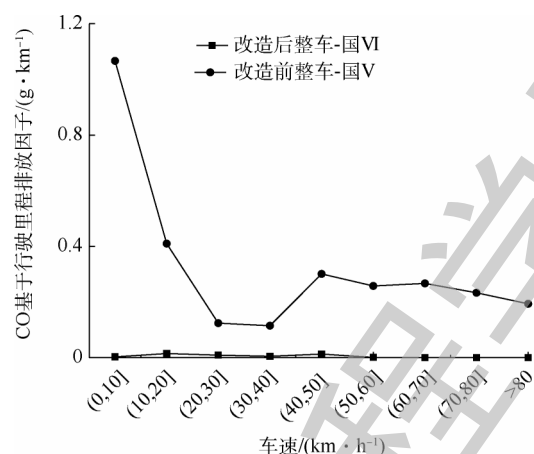
3.2 基于行驶里程的排放因子

基于行驶里程的排放因子对车速采用等间隔划分,以 $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为划分间隔。将速度分为(0, 10]、(10, 20]、(20, 30]、(30, 40]、(40, 50]、(50, 60]、(60, 70]、(70, 80]、(>80)共9个车速区间。通过对各车速区间内的排放因子加权平均处理,计算得出各车速区间对车辆排放因子的总体影响。图4给出了不同车速区间内NO、 NO_x 、CO和HC基于行驶里程的平均排放因子。可以看出,NO、 NO_x 、CO和

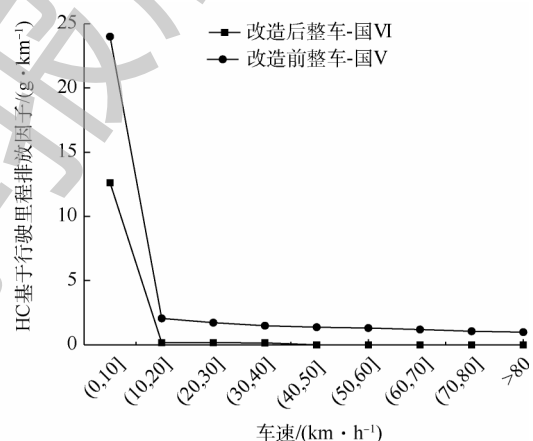
表3 基于燃油消耗的排放因子

Table 3 Emission factors based on fuel consumption

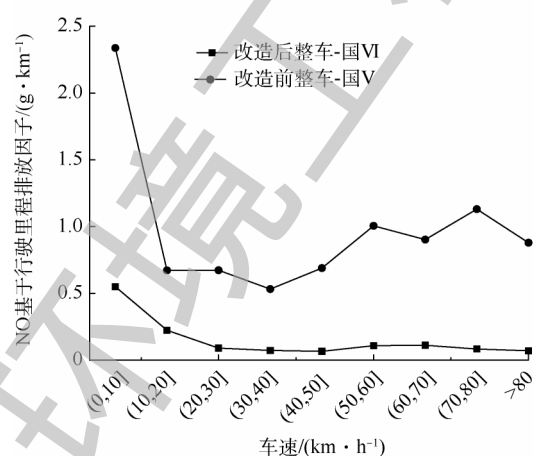
车速	$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$		
	CO	HC	NO
M3 客车市内	0.39	0.59	1.04
M3 客车市郊	0.19	0.01	0.34
M3 客车高速	0.12	0	0.52



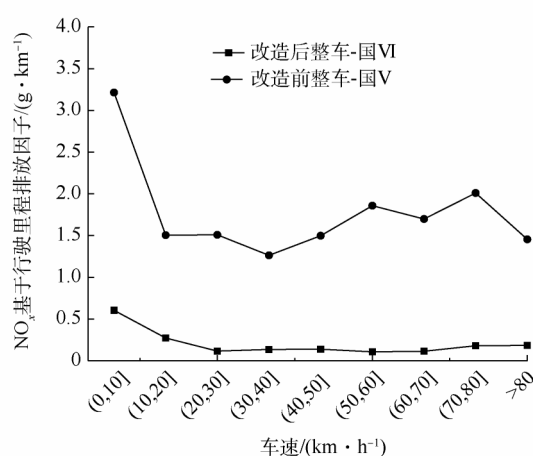
(a) CO



(b) HC



(c) NO



(d) NO_x

图4 基于平均车速的排放因子对比

Fig.4 Comparison of emission factors based on average speed

HC在(0, 10]速度段的基于行驶里程排放因子最高。当车速增大时, 污染物的排放因子总体呈快速下降趋势。而当速度达到(20, 30]速度段以后, 排放因子保持相对稳定。另外, 改造后安装国VI发动机及后处理系统车辆污染物排放量明显低于改造前安装国V发动机车辆, 其中 NO_x 平均下降88%, CO平均下降98%, HC平均下降62.7%。其中 NO_x 和CO较大下降幅度, HC下降幅度相对小, 其原因是在车速(0, 10]区间, 车辆起步加速, 瞬间喷入气缸的燃油较多, 未完全燃烧随尾气排出, 此时后处理排气温度较低, 污染物转化效率不高。该区间污染物排放量加权后占比重大。当车速 $>20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, HC污染物排放量降低幅度较大, 排放趋近与零。

3.3 基于单位时间的排放因子

为了全面了解国VI柴油车的瞬时排放特征, 图5分别给出了汽车在市区、市郊、高速的车速和 NO_x 、CO、HC污染物的瞬时排放速率。比较3种不同的道路类型的车速可以发现, 市内道路测试车辆的行驶速度相对较慢并且经常启停。而在市郊道路上, 车速平均能达到 $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上, 高速平均车速 $>75 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由于国VI发动机增加了氧化催化器、颗粒捕集器、选择性催化还原系统、氨捕集器等后处理系统, NO_x 、CO、HC污染物排放整体水平较低, NO_x 、CO瞬态污染物趋势随车速的增加而增加, 但HC在市郊和高速路段污染物排放趋于0, 分析其主要原因为, 在市郊和高速路段车辆运行相对平稳, 发动机缸内燃烧比较充分, HC排放量较低, 再加上后处理系统排气温度相对较高, 可以高效地氧化发动机排出的HC。市内路段各种气态污染物瞬时排放速率随车速的急剧变化呈现剧烈的波动。市郊、高速道路车辆启停相对较少, 其中HC和CO的排放高峰多出现在启停加速工况点。这2种污染物都是燃油不完全燃烧的产物, 在车辆加速过程中, 喷油量瞬间增加, 使得空燃比下降, 导致燃烧不充分造成的污染物排放增多。对于 NO_x 在高速路段排放较多, 车辆在高速行驶过程中, 柴油机运转在高转速高负荷工况, 发动机的燃烧温度也会随之上升, 高温富氧环境下促进了 NO_x 的生成。

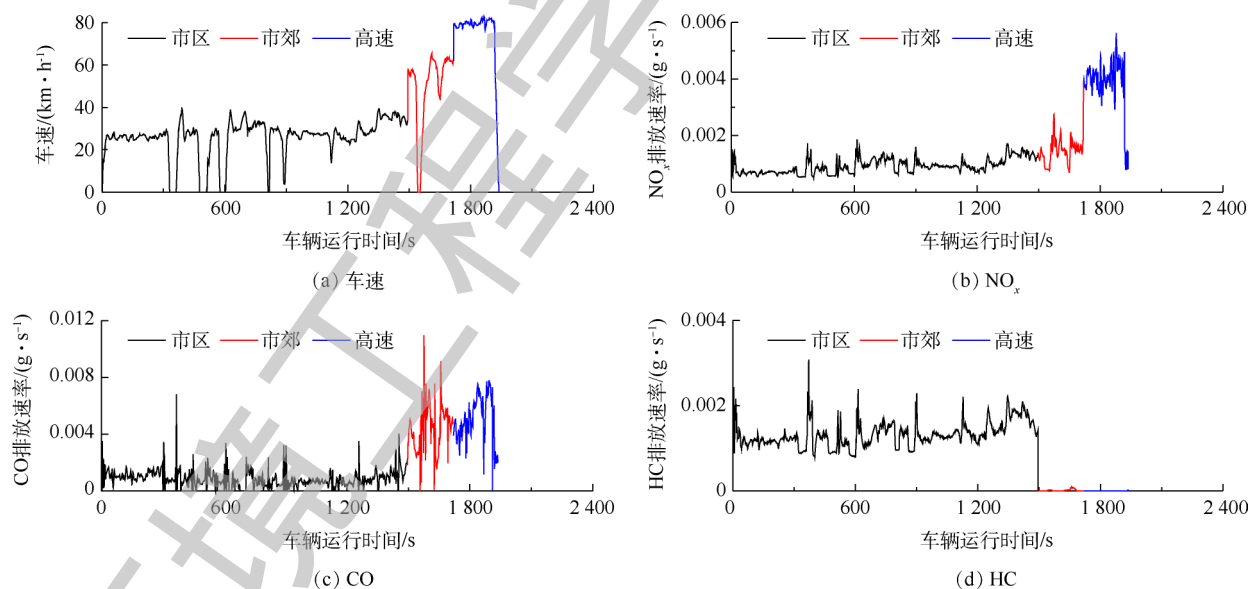


图5 国VI整车 NO_x 、CO、HC瞬时排放因子

Fig.5 NO_x , CO, HC instantaneous emission factors of national VI vehicle

3.4 功基窗口排放因子

图6、图7、图8为基于功基窗口法加权得到的 NO_x 、CO、HC瞬时排放因子。可以看出, NO_x 整体排放水平高于HC和CO, 特别是在市区道路部分工况, NO_x 排放水平较高, 主要因为市区整车经常启停, 后处理系统排气温度较低, 导致SCR部分区域转化效率低。HC和CO整体排放水平非常低, 特别

是在市郊和高速段, HC排放趋近于0。

功基窗口法测量排气污染物如表4所示, NO_x 测量结果为 $460 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$, CO测量结果为 $192 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$, HC测量结果为 $37.5 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$ 。各气体污染物均低于PEMS国VI限值, 测试结果符合国VI车载法规要求。

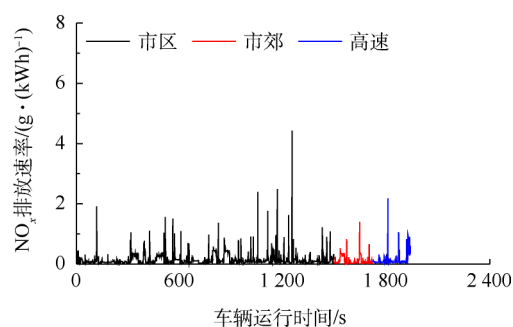


图6 NO_x 功基窗口法排放因子

Fig.6 NO_x emission factor with work-based window method

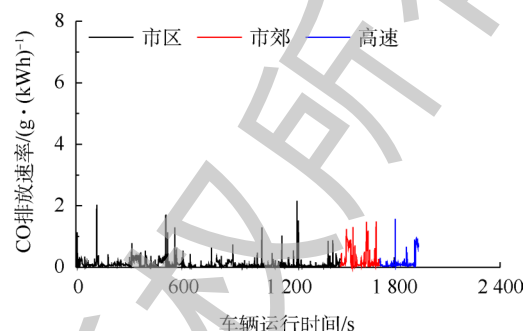


图7 CO功基窗口法排放因子

Fig.7 CO emission factor with work-based window method

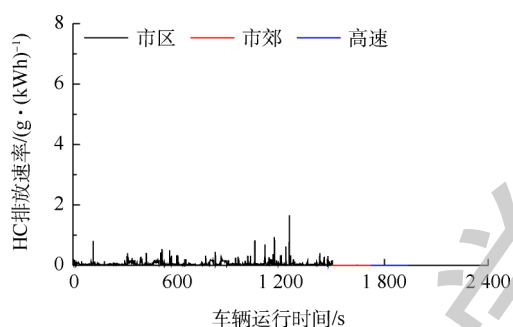


图8 HC功基窗口法排放因子

Fig.8 HC emission factor with work-based window method

表4 PEMS排放测试结果

Table 4 PEMS emission test results

污染物	国VI排放限值/ ($\text{mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$)	测试结果/ ($\text{mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$)
NO_x	690	460
CO	6 000	192
HC	—	37.5

4 结论

1) 基于PEMS测试了国VI重型柴油车的实际道路排放特征, NO_x 和HC市区工况高于市郊和高速工况, 因为市区工况车速较低, 排气温度较低, 后处理系统对污染物转化效率较低。

2) 国VI整车CO、HC、 NO_x 气态污染物较国V大幅度降低, NO_x 、HC、CO气态污染物较国V重型柴油车下降幅度较大, 3种气态污染物分别下降88%、98%、62.7%。

3) 基于功基窗口法对数据进行整理分析, NO_x 测量结果为 $460 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$, CO测量结果为 $192 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$, HC测量结果为 $37.5 \text{ mg} \cdot (\text{kWh})^{-1}$, 该整车PEMS测试结果符合国VI法规要求。

参考文献

- [1] 帅石金, 唐韬, 赵彦光, 等. 柴油车排放法规及后处理技术的现状与展望[J]. 汽车安全与节能学报, 2012, 3(3): 200-217.
- [2] 葛蕴珊, 王爱娟, 王猛, 等. PEMS用于城市车辆实际道路气体排放测试[J]. 汽车安全与节能学报, 2010, 1(2): 141-145.
- [3] 申现宝, 王岐东, 姚志良. 农用运输车实际道路油耗特征研究[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2010, 28(2): 71-75.
- [4] 郭勇, 于全顺, 王运静, 等. 公交车基于不同燃油的实际道路排放性与燃油经济性[J]. 环境科学学报, 2018, 38(12): 4636-4641.
- [5] 张静, 楼狄明, 谭丕强, 等. 不同后处理装置对柴油车颗粒物减排的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(7): 956-963.

- [6] YU Q, XIA K, QIN J Y, et al. The comparative study of various PEMS instruments under China's conditions[C]// IEEE. International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 2018: 3-5.
- [7] THOMPSON G, CARDER D K, BESCH M C. In-use emissions test of light-duty diesel vehicles in the United States[R]. Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions West Virginia University, 2014.
- [8] JACEK P, JERZY M, REMIGIUSZ J. Real driving emissions test of vehicles powered by compressed natural gas[J]. SAE Paper, 2015, 1: 20-22.
- [9] LEE T, PARK J H, KWON S, et al. Variability in operation-based NO_x emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles[J]. Science of the Total Environment, 2013, 5: 377-385.
- [10] KEAN A J, SAWYER R F, HARLEY R A. Fuel-based assessment of off-road diesel engine emissions[J]. Journal of Air Waste Management Association, 2000, 50(11): 1929-1939.
- [11] 杨帆. 灰分沉积及其对DPF性能影响机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [12] 姚志良. 基于车载测试(PEMS)技术的柴油机动车排放特征研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.
- [13] YU Q S, TAN J W, GE Y S, et al. Application of diesel particulate filter on in use on road vehicles[J]. Energy Procedia, 2017, 105: 1730-1736.
- [14] LAO C T, AKROYD J, EAVES N, et al. Modelling of secondary particulate emissions during the regeneration of diesel particulate filters open access[J]. Energy Procedia, 2017, 142: 3560-3565.
- [15] 刘巽俊. 内燃机排放控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [16] 王海鲲, 傅立新, 陈爱忠. 应用车载测试系统研究轻型机动车在实际道路上的排放特征[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2970-2974.
- [17] LIU Y S, GE Y S, TAN J W, et al. Emission characteristic of off-shore fishing ships of Yellow Bo Sea, China[J]. Journal environmental Sciences, 2018, 65: 83-89.
- [18] HE C, GE Y, MA C, et al. Emission characteristics of a heavy-duty diesel engine at simulated high altitudes[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409: 3138-3143.
- [19] HUO H, YAO Z, ZHANG Y, et al. On-board measurements of emissions from diesel trucks in five cities in China[J]. Atmospheric Environment, 2012, 54: 159-167.
- [20] 马冬, 丁焰, 刘志华, 等. 轻型汽车实际行驶工况的排放研究[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(5): 66-68.
- (本文编辑: 郑晓梅, 张利田)

Gaseous pollutants emission control technology for heavy diesel vehicles based on China VI standard

LIU Yingshuai^{1,2,3}, GE Yunshan^{1,2,*}, TAN Jianwei^{1,2}

1. National Lab of Auto Performance and Emission Test, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

2. Collaborative Innovation Center of Electric Vehicles in Beijing, Beijing 100081, China

3. Weifang University of Science & Technology, Weifang 261000, China

* Corresponding author, E-mail: geyunshan@bit.edu.cn

Abstract The emission characteristics of gaseous pollutants from China VI heavy-duty vehicles were studied by using the portable emission measurement system (PEMS). Based on the emission factors of unit fuel consumption, unit mileage and unit time, the variations of NO_x, HC and CO pollutants with road conditions was analyzed. The results showed that the gaseous pollutants of NO_x, HC and CO had a larger decline than the China V heavy duty diesel vehicle, and they decreased by 88%, 98% and 62.7%, respectively. Data collation and analysis with the method of power base window indicated that the measurement results of NO_x, CO and HC were 460 mg·(kWh)⁻¹, 192 mg·(kWh)⁻¹ and 37.5 mg·(kWh)⁻¹, the heavy diesel vehicle can meet the requirements of the China VI vehicle regulations. This study provides reference for the formulation of China VI vehicle emission standard and its applications in environmental pollution control field.

Keywords portable emission measurement system; emission factor; China VI; emission characteristics